

Determinação da Vazão de Água em Túnel por Circulação de Ar. Dimensionamento de Diafragma e seu Modelo Reduzido

DANTE CONTIN NETO (*)
MARCUS F. GIORGETTI (**)
REYNALDO GAVA (***)

Setor de Planejamento Técnico da Companhia Metropolitana de Água de São Paulo — COMASP

1 — INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta alguns aspectos de um dos diversos problemas surgidos durante a construção do sistema Juqueri, cujo projeto final prevê o fornecimento de 33 m³/s de água para o abastecimento da Grande São Paulo.

Os aspectos aqui focalizados referem-se ao ensaio de vazão de um túnel inclinado que interliga dois reservatórios distantes 4.650 metros.

O ensaio — a ser feito usando-se o ar como o fluido em escoamento — visa a determinação da secção ótima do túnel para aduzir a referida vazão de água, de 33 m³/s, com uma perda de carga pré-estabelecida, conforme o método descrito em um trabalho desta série (1).

Para a consecução deste objetivo surgiu a necessidade de elaborar dispositivos adequados para a medida de vazão de ar durante os ensaios.

A publicação "Le Génie Civil", tomo CXXX, n.º 9, de abril de 1953, relata a execução de trabalhos semelhantes, levados a cabo na França. Neste trabalho, o problema da medida da vazão de ar através do túnel foi solucionado com o uso de uma bateria de anemômetros de molinete, em alguns ensaios, e uma bateria de tubos de Pitot, em outros; estes instrumentos eram montados a jusante de uma redução de área regularizadora, de forma tronco-cônica, e a vazão era determinada a partir dos valores do campo de velocidades médias na secção transversal.

Este método foi comparado com métodos mais diretos de medida da vazão, como o uso de medidores de orifício, e sob diversos pontos de vista estes foram julgados mais apropriados. Exemplos de algumas vantagens são: menor número de medições e de aparelhos de medida, maior precisão, processamento mais rápido dos dados e execução mecânica mais simples do equipamento.

(1) Determinação de Perda de Carga Hidráulica por Circulação de Ar.

(*) Instrutor da Escola de Engenharia de S. Carlos.

(**) Engenheiro Mecânico e Instrutor da Escola de Engenharia de S. Carlos (USP).

(***) Engenheiro Mecânico e Instrutor da Escola de Engenharia de S. Carlos (USP).

Entre os diversos medidores de orifício, (diafragma, bocal, venturi) tradicionalmente utilizados, para esta aplicação particular o diafragma se revela o mais vantajoso devido à facilidade de execução do protótipo e do correspondente modelo a ser usado para a calibração do protótipo.

2 — ANTEPROJETO DO MEDIDOR DE VAZÃO TIPO ORIFÍCIO — DIAFRAGMA

O diafragma é dimensionado segundo as normas DIN para cálculo de medidores de vazão do tipo de orifício.

Inicialmente calcula-se o diâmetro de um conduto cilíndrico equivalente, cujo raio hidráulico seja o mesmo que o da secção do túnel realmente existente, mostrada na figura 1. Encontra-se o valor $D_1 = 4,51$ m.

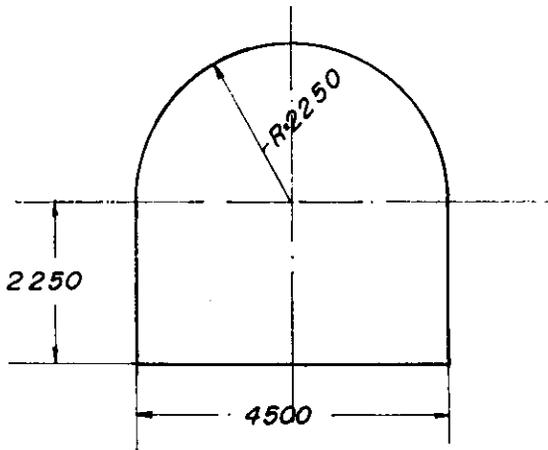


Fig. 1

Para o cálculo do diafragma fixam-se os valores:

- Vazão $Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ de ar seco
- Densidade $\rho_{ar} = 0,125 \text{ utm}/\text{m}^3$

e adota-se um manômetro diferencial com água como fluido manométrico que possibilita leituras de $\Delta h = 100 \text{ mm H}_2\text{O}$.

Calcula-se o diâmetro do orifício do diafragma; encontra-se o valor $D_2 = 1,62$ m.

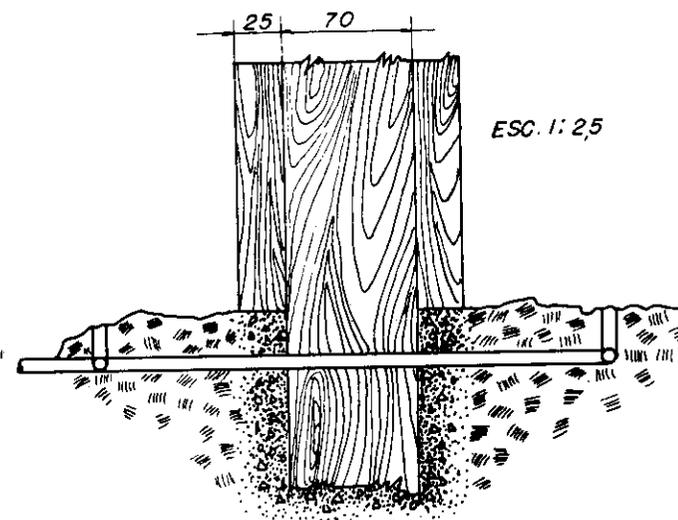
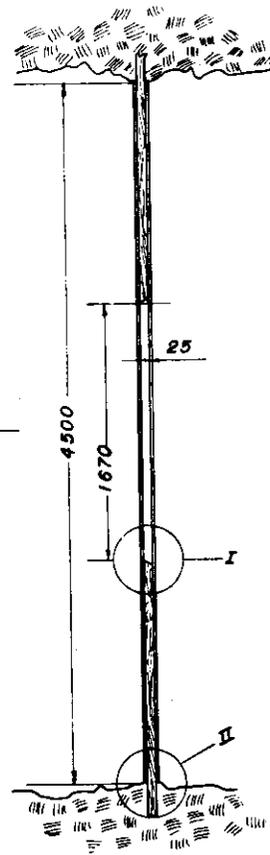
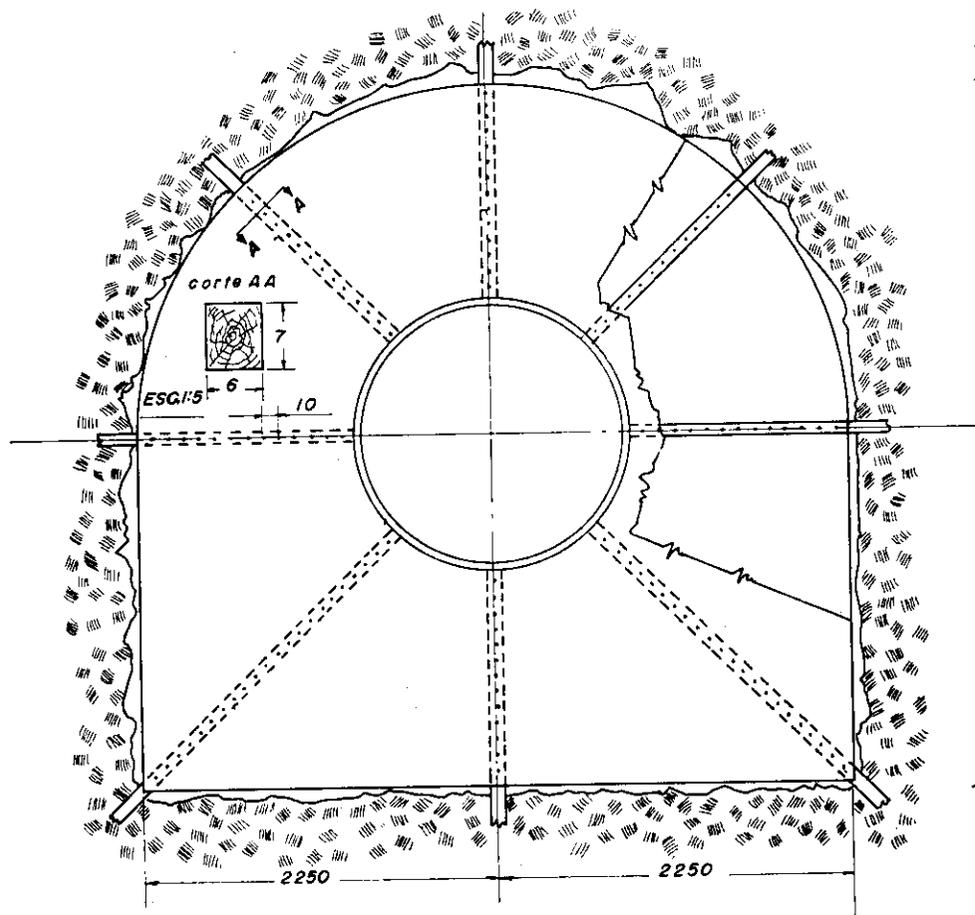
O erro máximo calcula-se também pela Norma DIN e adotando-se o erro máximo de 2% na medida das diferenças de pressões, o erro máximo resultante para a medida da vazão é de 2,12%.

Observe-se que no transcórre do cálculo verifica-se o número de Reynolds relativo ao diâmetro D_1 para as vazões máxima e mínima obtendo-se em ambos os casos valores superiores ao R_{cr} para a situação em estudo.

A construção do diafragma bem como sua montagem e fixação no túnel acham-se esquematizadas na figura 2.

Será construído quase totalmente em madeira, utilizando-se caibros de peroba, fôlhas de compensado de 1" rigidamente montadas, sendo posteriormente chumbadas no túnel.

Detalhes das tomadas de pressão podem também ser vistos na figura 2.



3 — DIMENSIONAMENTO DO MODELO REDUZIDO (*)

A fim de calibrar o diafragma anteriormente projetado dimensiona-se um modelo reduzido.

Para tanto fixam-se as seguintes condições de projeto:

fluido em escoamento: ar seco
 vazão máxima em regime (Q'_{max}): 0,3 m³/s.
 vazão mínima em regime (Q'_{min}): 0,15 m³/s. (**)
 diâmetro da tubulação (D'_1): 200 mm.

e verificou-se o número de Reynolds para as vazões máxima e mínima:

$$R_{p/Q'_{max}} = \frac{4Q'_{max}}{\pi D'_1 v} = 1,27 \times 10^5 > R_{cr}$$

$$R_{p/Q'_{min}} = \frac{4Q'_{min}}{\pi D'_1 v} = 6,35 \times 10^4 > R_{cr}$$

($R_{cr} = 5 \times 10^4$)

Uma vez que o número de Reynolds do escoamento é sempre maior que o R_{cr} , para se estabelecer a semelhança física entre os dois escoamentos é suficiente que haja igualdade entre as relações de área:

$$m = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \text{ e } m' = \left(\frac{D'_2}{D'_1} \right)^2$$

e entre os coeficientes de vazão dos diafragmas C_0 e C'_0 .

$$\text{Da fórmula } m' C'_0 = \frac{Q'_{max}}{A'_1 \sqrt{\frac{2 \Delta P'_{max}}{\rho'}}$$

$$\text{e portanto } \Delta P'_{max} = \frac{\rho'}{2} \left[\frac{Q'_{max}}{m' C'_0 A'_1} \right]^2$$

e numéricamente $\Delta P'_{max} = 790$ mm água.

Para a medida de $\Delta P'$ escolhe-se então um manômetro de tubos em U com água como fluido manométrico.

O diâmetro do orifício do diafragma é facilmente calculado:

$$D'_2 = \sqrt{m' D_1'^2} = 74 \text{ mm}$$

O diâmetro da abóbada da secção é obtido da escala geométrica do modelo; resultando:

$$d' = 199,5 \text{ mm}$$

(*) Para o cálculo do modelo reduzido adotam-se os mesmos símbolos já usados acrescidos do índice ' (linha).

(**) Essas vazões são fixadas tendo em vista o ventilador radial centrífugo que será utilizado para o modelo reduzido.

O comprimento mínimo do modelo fixa-se segundo a norma DIN, sendo igual a 15 vezes o diâmetro hidráulico do túnel antes e após o medidor, resultando um comprimento mínimo de 3 metros para o modelo.

Chega-se assim a um modelo reduzido com a forma e dimensões dadas na figura 3.

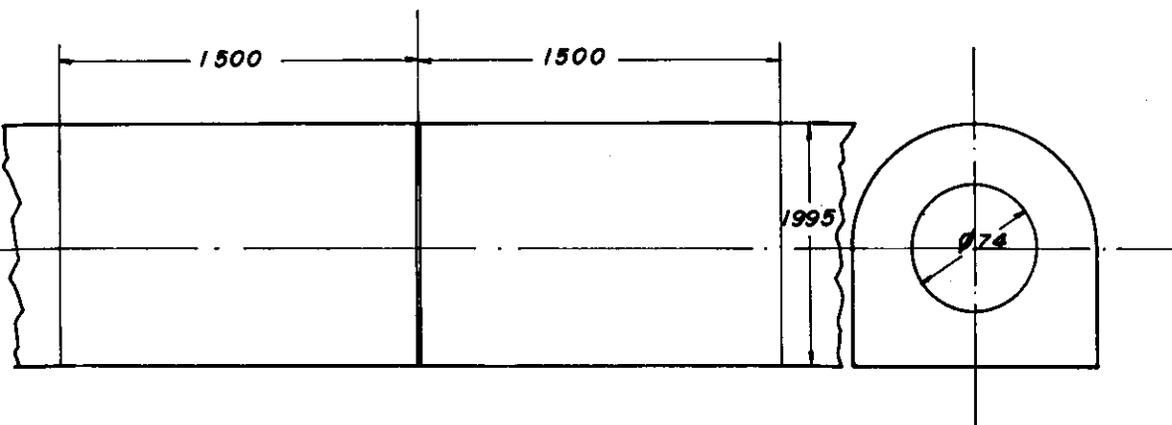


Fig. 3

As demais dimensões do diafragma bem como a localização das tomadas de pressão são determinadas segundo a norma DIN.

As medidas das vazões serão executadas através de anemômetros de fio quente ou baterias de tubos de Pitot.

Com tal aparelhagem será levantada a curva $C_0' \times R$ para o diafragma e no limite de constância (acima de R_{cr}) será determinado o valor do coeficiente de vazão para o diafragma.